

INDEKS BIAS DAN RELASINYA TERHADAP STRUKTUR IKATAN LAPISAN TIPIS AMORF SILIKON KARBON (a-SiC:H) HASIL DEPOSISI METODE DC SPUTTERING

Lusitra Munisa¹ dan Rosari Saleh²

¹Program Studi Ilmu Fisika, Program Pascasarjana Universitas
Indonesia, Jakarta 10430

²Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Indonesia, Depok 16424

Intisari

Lapisan tipis amorf silikon karbon (a-SiC:H) dideposisi dengan metode *dc sputtering* menggunakan target silikon dalam campuran gas argon dan metan. Indeks bias sebagai fungsi energi diperoleh dari hasil pengukuran transmisi. Indeks bias akan dianalisis terhadap sifat struktur (inframerah) dan komposisi (*electron probe microanalysis/EPMA*, *Rutherford Backscattering/RBS*). Baik hidrogen maupun karbon keduanya memberikan pengaruh terhadap berkurangnya harga indeks bias dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Berkurangnya harga indeks bias, hubungannya dengan kepadatan material dan struktur ikatan Si-H, C-H dan Si-C akan didiskusikan.

Kata kunci : *indeks bias, sifat optik, inframerah, struktur ikatan*

REFRACTIVE INDEX AND ITS RELATION TO THE BONDING STRUCTURE OF AMORPHOUS SILICON CARBON (a-SiC:H) FILMS DEPOSITED BY DC SPUTTERING METHOD

Abstract

Amorphous silicon carbon (a-SiC:H) films were deposited by dc sputtering methods using silicon target in argon and methane gas mixtures. A detailed analysis of refractive index as a function of energy has been performed by transmission measurement. The refractive index has been correlated with the structural (infrared/IR) and the compositional properties (electron probe microanalysis/EPMA, Rutherford Backscattering/RBS). The results show that both hydrogen and carbon give an effect on decreasing refractive index with increasing methane flow rate. The decreasing of refractive index, its relations to material density and to Si-H, C-H, Si-C absorption modes will be discussed.

Keywords: *refractive index, optical properties, infrared, bonding structure*

1. Pendahuluan

Karakteristik optik dan listrik lapisan tipis amorf silikon karbon (a-SiC:H) sangat bergantung pada komposisi dan mikrostrukturnya (Mui dan Smit, 1987; Beyer, *dkk.*, 1985). Peningkatan jumlah karbon dalam lapisan tipis a-SiC:H dapat meningkatkan gap optis, tetapi juga dapat menurunkan karakteristik listriknya (Beyer, *dkk.*, 1985; Racine, *dkk.*, 2001), selain itu kepadatan lapisan tipis a-SiC:H juga dapat berkurang dengan bertambahnya jumlah karbon (van Swaaij, *dkk.*, 1994). Beberapa peneliti (Peyrera dan Carreno, 1996; Solomon, *dkk.*, 1988; Oliveira dan Camargo, 1992) berpendapat bahwa karbon dalam lapisan tipis a-SiC:H berada dalam gugus metil CH₃ karena pada proses deposisi hanya gas silan SiH₄ yang terdekomposisi. Berbeda dengan Rovira dan Alvarez (1997) yang mendapatkan karbon dominan berada dalam gugus C-H (satu atom hidrogen berikatan dengan satu atom karbon) dalam lapisan tipis a-SiC:H dan bukan berada dalam gugus CH₃. Pernyataan Rovira dan Alvarez ini berdasarkan pada hasil analisis spektrum inframerah karena tidak hadirnya absorpsi dari gugus CH_n di sekitar 1300-1600 cm⁻¹. Berkurangnya kepadatan lapisan tipis a-SiC:H dengan peningkatan jumlah karbon dengan demikian belum tentu disebabkan oleh kehadiran karbon dalam gugus metil CH₃, yang sering dihubungkan oleh beberapa peneliti (van Swaaij, *dkk.*, 1994, Mahan, *dkk.*, 1987; Camargo Jr, 1992) dengan kehadiran *void*. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dipelajari relasi antara indeks bias dengan struktur ikatan-struktur ikatan yang terdapat pada lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *dc sputtering*. Indeks bias diperoleh dari hasil pengukuran transmisi spektroskopi UV-VIS (*ultra violet-visible*), sedangkan struktur ikatan-struktur ikatan lapisan tipis a-SiC:H diperoleh dari hasil analisis spektroskopi inframerah. Hasil eksperimen tambahan berupa komposisi dan konsentrasi hidrogen akan digunakan dalam mendiskusikan relasi tersebut dan pengaruhnya terhadap kepadatan lapisan tipis.

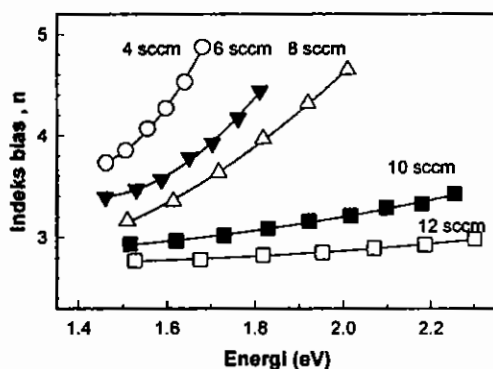
2. Eksperimen

Lapisan tipis amorf silikon ($a\text{-SiC:H}$) diperoleh dengan menggunakan metode deposisi *dc sputtering*. Target silikon berkemurnian 5N digunakan sebagai sumber silikon, sedangkan gas metan digunakan sebagai sumber karbon dan hidrogen. *Flow rate* gas metan divariasi dari 4 sampai 12 sccm (*standard cubic centimeter minute*) untuk memperoleh beberapa variasi komposisi. Deposisi dilakukan pada temperatur substrat 200 °C dan daya 200 Watt di atas substrat *corning* 7059 dan substrat monokristal silikon. Transmisi diukur untuk panjang gelombang 350-800 nm dengan spektrokopi UV-VIS, sedangkan absorpsi inframerah diukur untuk daerah bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Kedua pengukuran tersebut menggunakan referensi substrat yang digunakan, yakni untuk pengukuran optis terhadap *corning* 7059, sedangkan untuk pengukuran inframerah terhadap monokristal silikon. Ketebalan lapisan tipis diketahui dari profilometer, sedangkan komposisi diketahui dari teknik *EPMA* (*electron probe microanalysis*) yang menggunakan kristalin silikon karbon berkomposisi stoikiometri sebagai referensi, selain itu juga ditentukan dengan teknik *RBS* (*Rutherford backscattering*) Konsentrasi hidrogen diperoleh dari hasil eksperimen hidrogen effusi menggunakan spektrometer massa seperti telah dikemukakan sebelum ini (Saleh, *dkk.*, 1999). Indeks bias sebagai fungsi energi ditentukan dari hasil pengukuran transmisi lapisan tipis dengan menggunakan formulasi Swanepoel (Swanepoel, 1983; Munisa dan Saleh, 2000). Integral kurva absorpsi diperoleh dari analisis kurva absorpsi spektrum inframerah dengan pendekatan kurva absorpsi terhadap fungsi Gaussian (Saleh, *dkk.*, 1999; Saleh dan Munisa, 2000).

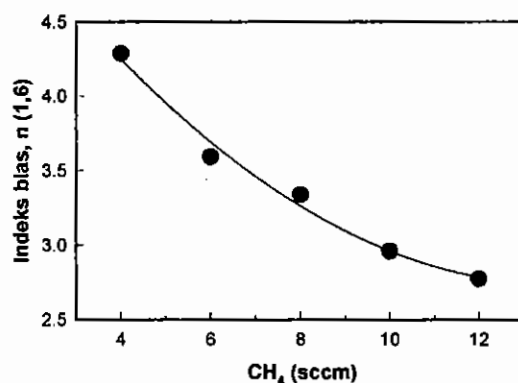
3. Hasil dan Pembahasan

Indeks bias lapisan tipis $a\text{-SiC:H}$ yang diperoleh dari spektrum transmisi diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar tersebut memperlihatkan indeks bias lapisan tipis $a\text{-SiC:H}$ sebagai fungsi energi untuk setiap variasi *flow rate* gas metan. Kurva indeks bias $n(E)$ memperlihatkan kecenderungan naik dengan peningkatan energi di daerah 1.5-2.3 eV, tetapi gradien kurva $n(E)$ cenderung berkurang dengan peningkatan *flow rate* gas metan atau kurva

semakin landai dengan bertambahnya *flow rate* gas metan. Harga indeks bias juga berkurang dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Hasil penentuan besaran optis n dan k di daerah cahaya tampak dan ultra ungu memiliki daerah yang terbatas, sehingga tidak diperoleh di seluruh daerah energi (Farouhi dan Bloomer, 1986). Oleh karena itu untuk melihat lebih jelas pengaruh peningkatan *flow rate* gas metan terhadap berkurangnya indeks bias maka dipilih satu harga energi yang indeks biasnya dapat diperoleh untuk kelima lapisan tipis tersebut, yakni energi 1.6 eV. Harga indeks bias pada energi 1.6 eV, $n(1.6)$ untuk setiap *flow rate* gas metan terlihat berkurang dengan peningkatan *flow rate* gas metan seperti ditunjukkan Gambar 2.

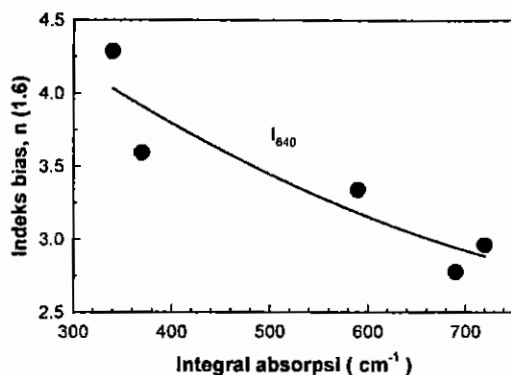


Gambar 1. Indeks bias n sebagai fungsi energi dari lapisan tipis a-SiC:H untuk lima variasi *flow rate* gas metan.

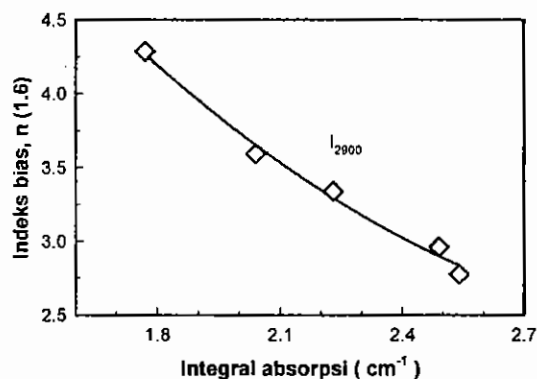


Gambar 2. Indeks bias pada energi 1.6 eV $n(1.6)$ dari lapisan tipis a-SiC:H untuk lima variasi *flow rate* gas metan.

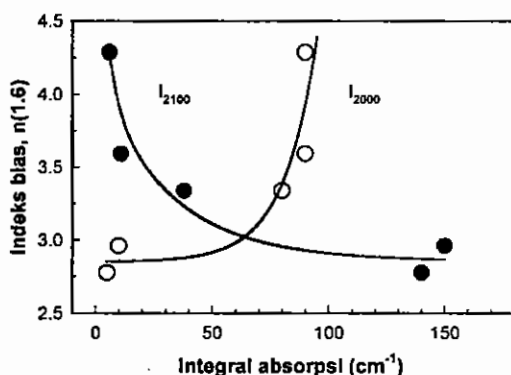
Relasi indeks bias dengan struktur ikatan-struktur ikatan yang terdapat pada lapisan tipis a-SiC:H dilakukan dengan menggunakan hasil analisis spektrum inframerah, yang telah dilakukan sebelum ini (Saleh, *dkk.*, 1999; Saleh dan Munisa, 2000). Relasi indeks bias terhadap struktur ikatan Si-H diwakili oleh integral absorpsi di sekitar 640 cm^{-1} , 2000 dan 2100 cm^{-1} , terhadap struktur ikatan Si-C diwakili oleh integral absorpsi di sekitar 720 dan 780 cm^{-1} , dan terhadap struktur ikatan C-H diwakili oleh integral absorpsi di sekitar 2900 cm^{-1} .



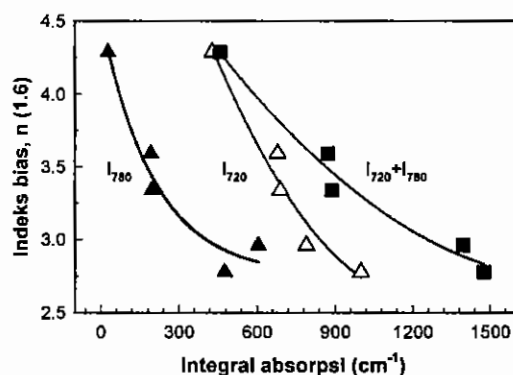
Gambar 3a. Relasi $n(1.6)$ terhadap integral absorpsi di sekitar 640 cm^{-1} , I_{640} dari lapisan tipis a-SiC:H untuk kelima *flow rate* gas metan



Gambar 3b. Relasi $n(1.6)$ terhadap integral absorpsi di sekitar 2900 cm^{-1} , I_{2900} dari lapisan tipis a-SiC:H untuk kelima *flow rate* gas metan



Gambar 3c. Relasi $n(1.6)$ terhadap integral absorpsi di sekitar 2000 cm^{-1} , I_{2000} dan 2100 cm^{-1} , I_{2100} dari lapisan tipis a-SiC:H untuk kelima *flow rate* gas metan



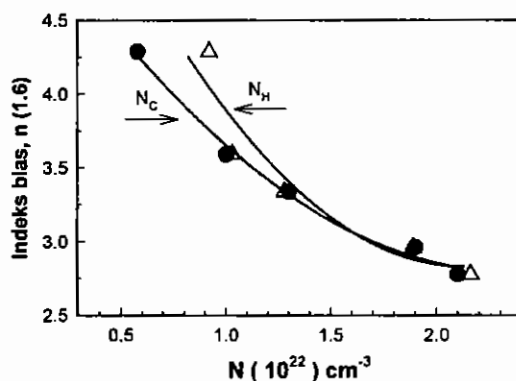
Gambar 3d. Relasi $n(1.6)$ terhadap integral absorpsi di sekitar 720 cm^{-1} , I_{720} , 780 cm^{-1} , I_{780} dan $720+780 \text{ cm}^{-1}$, $I_{720+I_{780}}$ dari lapisan tipis a-SiC:H untuk kelima *flow rate* gas metan

Relasi indeks bias di energi 1.6 eV , $n(1.6)$ terhadap integral absorpsi di sekitar 640 cm^{-1} dan 2900 cm^{-1} diperlihatkan pada Gambar 3a dan 3b. Kedua gambar tersebut memperlihatkan harga indeks bias yang berkurang dengan peningkatan kedua integral absorpsi tersebut. Garis pada gambar bukan merupakan suatu fungsi tetapi hanya alat bantu untuk melihat kecenderungan data. Kedua absorpsi tersebut mewakili vibrasi *wagging* Si-H dan *stretching* C-H sehingga dapat dikatakan bahwa peningkatan struktur ikatan Si-H dan C-H dari lapisan tipis a-SiC:H berkontribusi pada berkurangnya indeks bias.

Selain kedua integral absorpsi tersebut, struktur ikatan hidrogen juga diwakili oleh absorpsi di sekitar 2000 dan 2100 cm^{-1} yang berhubungan dengan vibrasi *stretching* Si-H pada *bulk* dan pada permukaan bagian dari *void* (Saleh, *dkk.*, 1999; Saleh dan Munisa, 2000; Saleh, *dkk.*, 2001). Relasi kedua integral absorpsi I_{2000} dan I_{2100} terhadap indeks bias diperlihatkan pada Gambar 3c. Garis pada gambar bukan merupakan suatu fungsi tetapi hanya alat bantu untuk melihat kecenderungan data. Relasi indeks bias terhadap integral absorpsi I_{2100} memperlihatkan berkurangnya indeks bias dengan peningkatan integral absorpsi I_{2100} atau dapat dikatakan bahwa peningkatan integral absorpsi yang berhubungan dengan struktur ikatan Si-H pada *void* berkontribusi pada berkurangnya indeks bias. Relasi yang berbeda diperoleh untuk integral absorpsi I_{2000} , indeks bias berkurang dengan berkurangnya integral absorpsi tersebut, dengan demikian dapat dikatakan bahwa struktur ikatan Si-H pada *bulk* tidak berkontribusi pada berkurang indeks bias. Gambar 3d memperlihatkan relasi indeks bias terhadap integral absorpsi di sekitar 720 dan 780 cm^{-1} , I_{720} dan I_{780} yang cenderung berkurang dengan peningkatan kedua integral absorpsi tersebut, dengan demikian dapat dikatakan bahwa kedua integral absorpsi yang berhubungan dengan struktur ikatan Si-C tersebut berkontribusi pada berkurangnya indeks bias. Garis pada gambar bukan merupakan suatu fungsi tetapi hanya alat bantu untuk melihat kecenderungan data. Selain itu diperlihatkan pula relasi indeks bias terhadap penjumlahan kedua integral absorpsi $I_{720}+I_{780}$ pada Gambar 3d. Berkurangnya indeks bias dengan peningkatan integral absorpsi $I_{720}+I_{780}$ juga diperoleh dengan gradien yang lebih besar dibandingkan masing-masing integral absorpsi.

Relasi yang diperlihatkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa berkurangnya indeks bias dengan bertambahnya *flow rate* gas metan, tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah karbon di dalam lapisan tipis a-SiC:H tetapi juga dipengaruhi oleh jumlah hidrogen dalam bentuk ikatan Si-H dan C-H. Walaupun demikian, tidak semua struktur ikatan Si-H berkontribusi pada berkurangnya indeks bias, struktur ikatan Si-H pada *bulk* tidak berkontribusi pada berkurangnya indeks bias. Peningkatan *flow rate* gas metan pada proses deposisi tidak hanya menambah jumlah karbon tetapi juga jumlah hidrogen

yang terlibat dalam proses deposisi, sehingga pengaruh berkurangnya indeks bias pada lapisan tipis a-SiC:H hasil penelitian ini merupakan pengaruh dari kedua komponen tersebut, yang diperlihatkan dalam bentuk densitas atomik seperti pada Gambar 4. Gambar tersebut memperlihatkan relasi densitas hidrogen N_H dan densitas karbon N_C terhadap indeks bias $n(1.6)$ yang sama-sama berkontribusi pada berkurangnya indeks bias. Perbedaan pengaruh diantara keduanya terlihat pada *flow rate* gas metan rendah (<6 *sccm*), bahwa berkurangnya indeks bias lebih dipengaruhi oleh peningkatan hidrogen. Hal ini dapat dimengerti karena jumlah karbon dalam lapisan tipis a-SiC:H masih sangat sedikit atau silikon masih berada dalam kondisi silikon dominan.



Gambar 4. Relasi indeks bias $n(1.6)$ terhadap densitas atomik hidrogen N_H (Δ) dan karbon N_C (\bullet)

Berkurangnya indeks bias dengan peningkatan konsentrasi karbon telah dikemukakan oleh beberapa peneliti (van Swaaij, *dkk.*, 1994; Sotiropoulos dan Weiser, 1987; Desalvo, *dkk.*, 1997; Campo., *dkk.*, 1998; Kuhman, *dkk.*, 1989), walaupun mereka menggunakan gas hidrokarbon dalam proses deposisi. Mereka mengemukakan bahwa peningkatan jumlah karbon dapat mengurangi kepadatan material a-SiC:H, berdasarkan pada berkurangnya indeks bias. Mahan *dkk.*, 1987 mengemukakan bahwa peningkatan jumlah *void* pada material a-SiC:H disebabkan karena peningkatan gugus metil CH_3 , karena karbon dominan berada dalam gugus ini. Camargo Jr. *dkk.*, 1992 menghubungkan indeks bias dengan gugus metil CH_3 dan *void*, dimana relasinya berbanding

terbalik. Beberapa peneliti (Mui dan Smith, 1987; Desalvo, *dkk.*, 1997) juga menghubungkan berkurangnya indeks bias dengan peningkatan *void*. Tetapi hasil analisis spektrum inframerah lapisan tipis a-SiC:H hasil penelitian ini tidak memperlihatkan kehadiran gugus metil CH₃ dengan ketidakhadiran absorpsi di sekitar 1300-1600 cm⁻¹ yang merupakan absorpsi gugus CH_n seperti dikemukakan sebelum ini. Oleh karena itu berkurangnya indeks bias pada lapisan tipis a-SiC:H hasil penelitian ini dapat dikatakan bukan karena peningkatan karbon dalam bentuk gugus metil CH₃ yang menambah jumlah *void* dalam lapisan tipis, tetapi karbon dalam bentuk ikatan Si-C dan C-H. Selain itu berkurangnya indeks bias bukan hanya disebabkan oleh peningkatan karbon saja tetapi juga peningkatan hidrogen dalam bentuk ikatan Si-H dan C-H terutama pada *flow rate* gas metan kecil.

4. Kesimpulan

Indeks bias lapisan tipis a-SiC:H hasil deposisi metode *dc sputtering* memperlihatkan kecenderungan berkurang dengan peningkatan *flow rate* gas metan. Struktur ikatan hidrogen (Si-H dan C-H) maupun karbon (Si-C) yang terdapat pada lapisan tipis a-SiC:H sama-sama berkontribusi pada berkurangnya harga indeks bias, kecuali struktur ikatan Si-H pada *bulk* di sekitar 2000 cm⁻¹. Hidrogen lebih berpengaruh pada berkurangnya indeks bias untuk *flow rate* gas metan rendah.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan hibah tim penelitian proyek URGE Batch III dengan nomor kontrak 005/HTPP-III/URGE/1997 dan kerja sama International Bureau of BMBF (Germany) dengan Universitas Indonesia (Indonesia).

Daftar Pustaka

- Beyer, W., H. Wagner dan H. Mell, 1985, Bonding and Release of Hydrogen in a-SiC:H Alloys, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 49, 189
- Campo, J.M.D, M. Lenski, dan F.J. Comes, 1998, Influence of Gas Phase Chemistry on The Properties of Hydrogenated Amorphous Silicon and Silicon-Carbon Alloys Grown by HACVD, *Thin Solid Films*, 323, 115
- Camargo Jr. S.S., M.L. Oliveira, A.A. Pasa dan C. Gatts, 1992, Improved Properties of a-SiC:H Alloys with Reduced Density of CH₃ Radicals, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 258, 613
- Desalvo, A., F. Giorgis, C.F. Pirri, E. Tresso, P. Rava, R. Galloni, R. Rizzoli dan C. Summonte, 1997, Optoelectronic Properties, Structure and Composition of a-SiC:H Films Grown in Undiluted and H₂ Diluted Silane-methane Plasma, *J. Appl. Phys.*, 81, 7973
- Forouhi, A.R. dan I. Bloomer, 1986, Optical Dispersion Relations for Amorphous Semiconductors and Amorphous Dielectrics, *Phys. Rev. B* 34, 7018
- Kuhman, D., S. Grammatica dan F. Jansen, Properties of Hydrogenated Amorphous Silicon Carbide Films Prepared by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, *Thin Solid Films*, 177, 253
- Mahan, A.H., P. Menna dan R. Tsu, 1987, Influence of microstructure on the Urbach edge of amorphous SiC:H and amorphous SiGe:H alloys, *Appl. Phys. Lett.*, 51, 1167
- Mui, K. dan F.W. Smith, 1987, Tetrahedron Model for The Dielectric Function of Amorphous Silicon-Carbon Alloys, *Phys. Rev. B* 35, 8080
- Munisa, L. dan R. Saleh, 2002, Pengaruh Peningkatan Flow Rate Gas Metan Terhadap Sifat Optis Lapisan Tipis Amorf Silikon Karbon (a-SiC:H) Hasil Deposisi Metode DC Sputtering, *Makara Seri Sains*, 6, 45
- de Oliveira, M. L., S. S. Camargo-Jr., F. L. Freire Jr., 1992, On the Carbon Incorporation into a-SiC:H Films with Low Carbon Content, *J. Appl. Phys.*, 71, 1531
- Peyrera, I. Dan M.N.P. Carreo, 1996, The Influence of "Starving Plasma" Regime on Carbon Content and Bonds in a -Si_{1-x}C_x:H, *Thin Films, J. Non-Cryst. Solids*, 201, 110
- Racine, B., A.C. Ferrari, N.A. Morrison, I. Hutchings, W.I. Milne dan J. Robertson, 2001, Properties of Amorphous Carbon-Silicon Alloys Deposited by a High Plasma Density Source, *J. Appl. Phys.*, 90, 5002

- Rovira, I. Dan F. Alvarez, 1997, Chemical (dis)order in $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ for $x < 0.6$, *Phys. Rev. B* 55, 4426
- Saleh, R., L. Munisa, W. Beyer, F. Finger dan R. Carius, 1999, Structural and Electronic Properties of Amorphous Silicon Carbon Films Deposited by DC Reactive Magnetron Sputtering, *Physics Journal-IPS*, 2, 41
- Saleh, R. dan L. Munisa, 2000, Identifikasi Struktur-struktur Ikatan Pada Lapisan Tipis Amorf Silikon Karbon ($a\text{-SiC:H}$) Hasil Deposisi DC Sputtering Dengan Menggunakan Spektroskopi Inframerah, *Makara Seri B*, No.7, 54
- Saleh, R., L. Munisa dan W. Beyer, 2001, The Si-H Stretching Mode and The Microstructure Studies of The Amorphous Silicon Carbon ($a\text{-SiC:H}$) Films Produced by DC Magnetron Sputtering Methods, *Physics Journal-IPS*, 4, 28
- Solomon, I., M.P. Schmidt dan H. Tran-Quoc, 1988, Selective Low-power Plasma Decomposition of Silane-Methane Mixtures for The Preparation of Methylated Amorphous Silicon, *Phys. Rev. B*, 38, 9895
- Sotiropoulos, J. dan G. Weiser, 1987, Optical Properties and Structure of $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ Alloys, *J.Non-Cryst. Solids*, 92, 95
- Swanepoel, R. 1983, Determination of The Thickness and Optical Constants of Amorphous Silicon, *J. Phys. E*, 16, 1214
- van Swaaij, R.A.C.M.M., A.J.M. Berntsen, W.G.J.H.M. van Sark, H. Herremans, J. Bezemer dan W.F. van der Weg, 1994, Local Structure and Bonding States in $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, *J. Appl. Phys.*, 76, 251